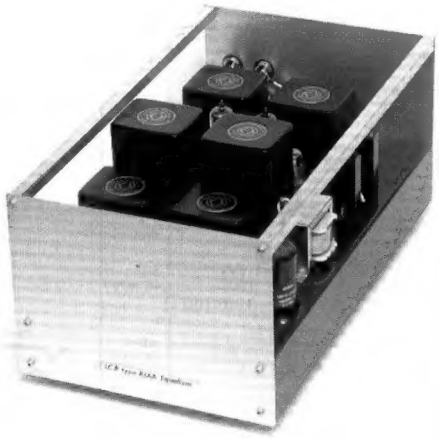
初段にE80Fを使用した電源ユニット分離型

真空管LCR型フォノイコライザーアンプ

岩村保雄　IWAMURA Yasuo



アナログレコードを最大限楽しむためにLCR型のフォノイコライザーアンプを製作．5極管E80Fと12AU7の電圧増幅，回路構成はLCRネットワークをトランスドライブするという標準的なものとした．また，製作に当たって問題となる残留ハムを低減するために電源を別筐体とした．LCR型は比較的高価になるが，NFB型やCR型に比べ回路全般にインピーダンスが低いだけに，製作は電源を分離すれば難しくはない．必要十分な特性を持つ，音楽を聴くツールとしてのフォノイコライザーとなった．

はじめに

近年，ピュアオーディオの世界にもデジタルパワーアンプが登場したり，パソコンとネットワークの組み合わせが音源として使われるようになるなど，デジタル化の波が次々と押し寄せています．他方，デジタルに飽き足りない方には，アナログ回帰の流れが強まり，デジタルの対極であるアナログ再生についての関心が高まっているようです．

アナログ再生にはプレーヤーとともにフォノイコライザー（以下，イコライザー）が必要となります．LPプレーヤーは現在も製造されていますし，ビンテージ品も比較的容易に手に入れることができます．ところが，現在市販されているイコライザーアンプの多くはアナログICを使ったもので，真空管を使ったものは非常に高価であるのが現状です．振り返って，製作記事はといえばイコライザー関係のものは少数にすぎません．その発表された製作記事も，多くはNFB型とCR型のRIAAイコライザーです．アナログ再生でもっともアナログらしい音がするといわれてきたLCR型イコライザーアンプは，残念ながらこれまでほとんど発表されてきませんでした．それはCDを初めとするデジタル機器が普及するに従ってアナログへの関心が低下し，LCRイコライザーの心臓部ともいえるインダクターが市販されなくなってしまったからです．

それでも最近は一部の熱心なファンからの要望に応えて，LCRイコライザー用のインダクターが橋本電気，ノグチトランス，アムトランスから市販されるようになってきました．2年以上前から橋本電気にお願いした結果，インダクターを試作していただきました．それを使ってRIAAイコライザー付きプリアンプとして製作を始めたところ，このような構成ではどうしても大型になってしまうことと，製作する上でも実際に使う上でも，イコライザーとラインアンプは別にしたほうがよいと方針を転換，改めて電源も別筐体としてシンプルなイコライザーとして作り直すことにしました．

本機はLCRイコライザーが定インピーダンス型であるという特徴を活かすように，ラインアウトトランスを使ってLCRイコライザーをドライブするという，定石に従った回路構成となっています．前述のように，ハム雑音の影響をできるだけ受けないように電源部分を別筐体にし，製作に当たってのトラブルを避けるようにしました．また，MCカートリッジの使用に対してはMCトランスを内蔵するすることで対応しています．

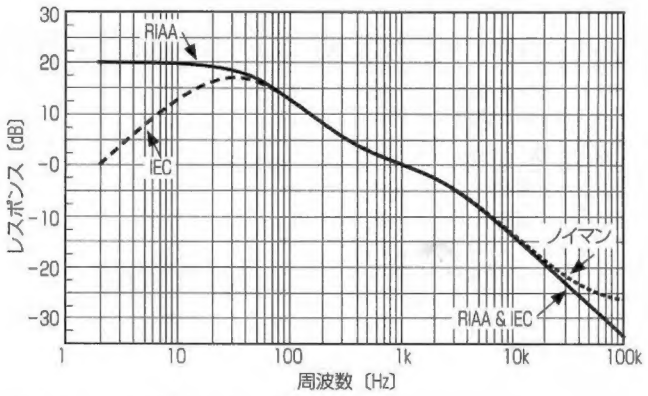
RIAA特性

RIAA特性はアメリカ・レコード協会（Recording Industry Association of America）によって決められた，LPレコードの記録／再生の規格で，3つの時定数3180/318/75μsで定義されてい

ます．JISでもRIAA特性を引用した形で定義されていますが，面白いことに特性表の中のいくつかの周波数で0.01dBの違いが散見されます．

RIAA規格では20Hz以下と20kHz以上の特性は定義されていないので，イコライザーを製作するに当たって，その部分の処理にいろいろなバリエーションが考えられます．多く見られるのは，20 Hz以下はフラットで，20kHz以上ではそのままの傾斜で減衰するというものです．20Hz以下をフラットにすると低域（サブソニック）のノイズまで再生されてしまいます．また，20kHz以上でさらに減衰させるとNFB型では安定性の問題が出てきます．

そのため，1987年にIECにより改めて定義された規格では，低域を抑える目的で7950μs(20Hz)の時定数の追加が推奨されています．高域については，たとえばノイマンのカッテングマシンでは可聴周波数以上の増幅度を抑える3.18μs(50kHz)の時定数が加わり，－27dB程度となっているようです．これらの特性の違いがわかるように図1にまとめました．LCR型ではIECの低域を抑えるかどうかは，音作りの点で問題となるが，高域についてはNFB型と違ってノイマンのように抑える必要はありません．



［図1］RIAA特性とIEC特性

回　路

(1) レベルダイヤグラム

LCRイコライザーアンプは前段アンプ，LCRネットワーク，出力段アンプから構成されます．まず，これら構成要素の信号レベルを想定して，レベルダイヤグラムを決定しなければなりません．

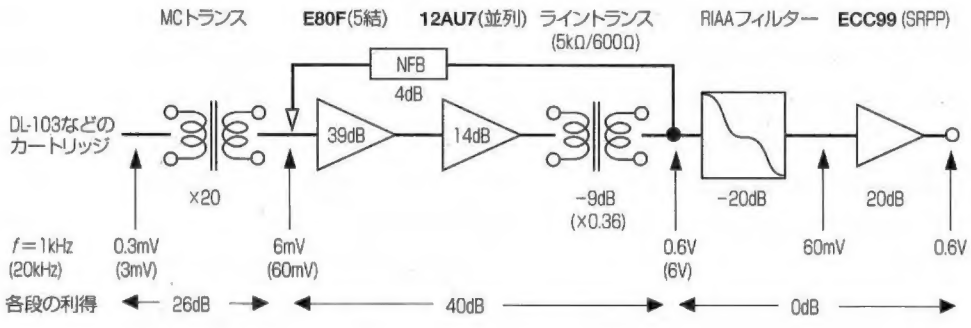
本機ではMCカートリッジへの対応はMCトランスを内蔵することで対応するので，前段アンプはMMカートリッジの出力レベルを考えればよいことになります．それを典型的な電圧1kHzで6mVとすると，10kHzではRIAAカーブのプリエンファシスにより60mVの入力となるので，若干の余裕を見て150mVまでの耐入力が必要となります．

本イコライザーアンプの後に接続するラインアンプの入力インピーダンスが最悪（最も低い）だった場合を10kΩと考え，イコライザーアンプの出力段アンプの出力インピーダンスは1kΩとします．またイコライザーの定格出力電圧はCDプレーヤーの出力電圧と同等の0.6Vとし，アンバランス出力とします．これらの条件からレベル・ダイヤグラムを図2のように決めました．

(2) 前段アンプ

前段の電圧増幅アンプはMMカートリッジからの微小電圧を40dB（100倍）増幅することに加えて，RIAA-LCRネットワークをドライブするために出力インピーダンス600Ωとする必要があります．これらの機能を2つに分けて実現することにし，電圧増幅部とラインアウトトランスドライブ部から構成します．

今回使用するラインアウトトランスHL-20K-6は1次インピーダンス20kΩ（直列）と5kΩ（並列）で使うことができますが，特性図



［図2］イコライザーアンプのレベルダイヤグラム

する点で，20Hz～20kHzと十分広いとはいえないまでも必要なだけは確保されています(図3)．最大出力電圧(歪率1%)は17V_{rms}で，レベルダイヤグラムで想定している最大入力電圧150mV_{rms}をクリアできています．

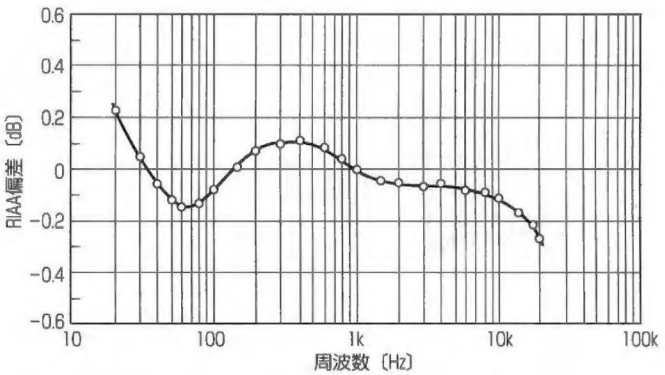
(3) RIAA-LCRネットワーク

LCRネットワークには橋本電気製のインダクターを使いますが，本機で使ったものは初期の試作品なので，1.8Hと45mHの2つのインダクターから構成されています．LCRネットワークは入出力インピーダンスが600Ωで，インピーダンス整合した条件で使用することが条件となります．

はじめにLCRネットワークのみで実現したRIAA特性の偏差を調べるために，600Ωの出力インピーダンスの発振器でドライブし，600Ωの終端抵抗を付けた状態で周波数特性を測りました．

L，C，Rはインダクターの説明書に記載の簡易型回路の値から始め，微調整をすることで図4のようにRIAA特性に対して±0.2dB以下の偏差とすることができました．そのときのLCRの各値は次の通りです．

R_1, R_2 = 498Ω (510Ω//33kΩ)
R_3 = 109.1Ω (120Ω//1.2kΩ)
R_4, R_5 = 620Ω
C_1 = 4.8μF
C_2 = 0.117μF(0.102 + 0.015μF)
L_1 = 1.8H
L_2 = 45mH



［図4］LCR型RIAAイコライザー基板のRIAA偏差

LCRネットワークのみのRIAA偏差がいくら小さくても，最終的なイコライザーアンプとしてのRIAA偏差は，アンプ各段の特性やラインアウトトランスの周波数特性を総合したものである点に目を向ける必要があります．

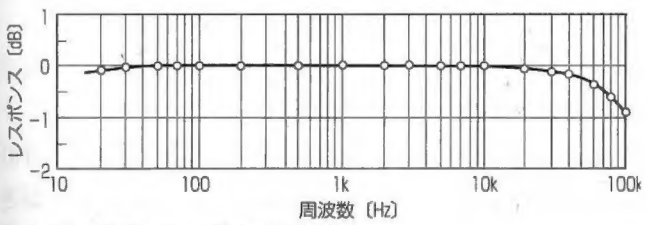
(4) 出力段アンプ

先に決定したレベルダイヤグラム(図2)に従って，出力段アンプは増幅度20dB(10倍)，出力インピーダンス1kΩということになります．双3極管を使ってこれを実現するには，3極管増幅＋カソードフォロワーあるいはSRPP回路が考えられます．

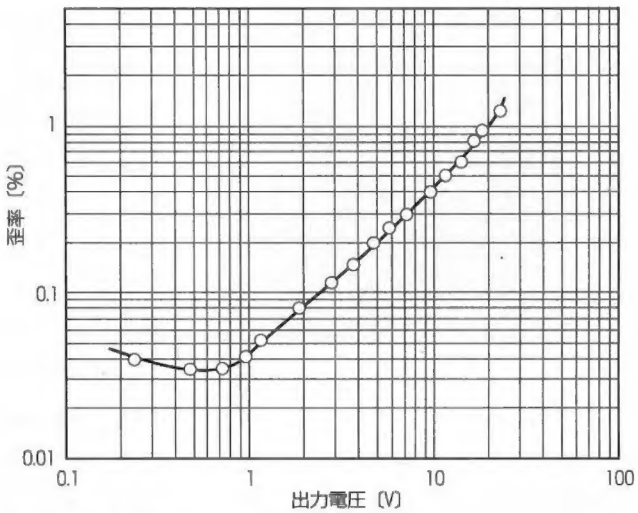
本機では部品点数の少ないSRPP回路を使うことにし，表2に示したECC99，6N6P，5687といった内部抵抗の小さい双3極管でその動作を確認しました．これらの真空管は，比較的g_mが大きいのでSRPP動作に適していると考えられます．予備実験の結果，入手の容易さと歪率の低さから，ECC99を使うことにしました．

出力段アンプの歪率改善と増幅率を所定の20dBとするために，下段のカソードバイパスコンデンサーを省き，4.5dBの電流帰還NFBを掛けています．その結果，増幅度は19.6dB(9.6倍)で予定した値となりました．

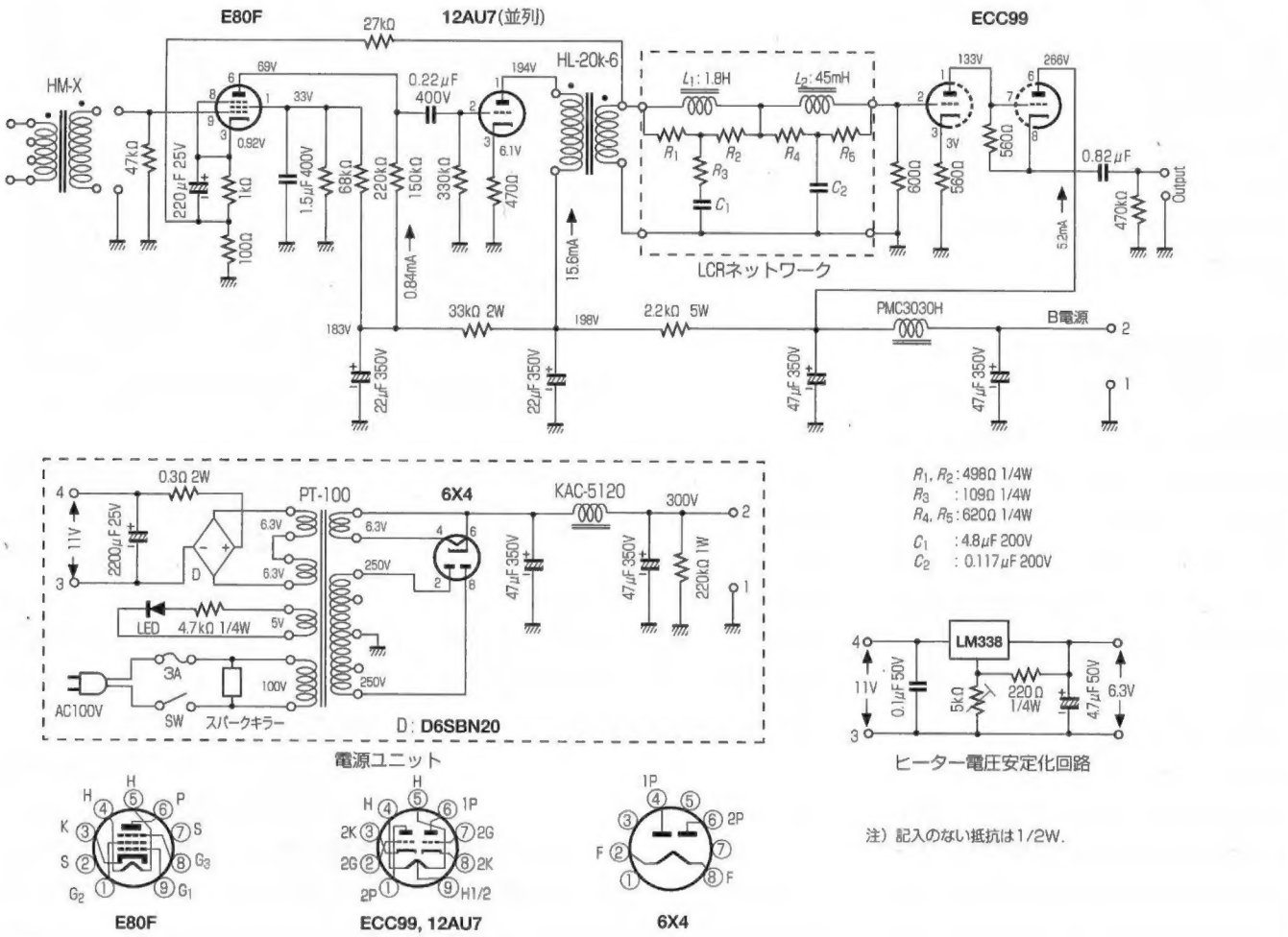
送り出しアンプ部の周波数特性と歪率特性を図5，6に示します．RIAA規格の定義されている周波数20Hz～20kHzの範囲で，十分±0.1dB以内に収まっています．また，歪率についても定格出力電



［図5］出力段アンプの周波数特性



［図6］出力段アンプの歪率特性



[図7] LCR型RIAAイコライザーアンプの全回路図

圧の0.6V_{rms}では0.035%，10dBの余裕を見た2V_{rms}でも0.08%と十分に小さな値となっています．

この回路では，電流帰還NFBのために出力インピーダンスは1.4kΩと増大して，当初の設定よりも若干大きくなってしまったのですが，全体的なバランスからこれで問題なしとしました．

(5) 電源回路

パワーアンプと比べて信号レベルの小さいプリアンプ，とりわけ微小信号を扱うイコライザーアンプで電源由来のハムを排除することは，腕に自信のある方でも結構手こずるものです．このようなトラブルを避ける一番の方法は，電源回路を別シャシーとすることで，まさしくその理由で，本機でも電源回路を別シャシーとしました．

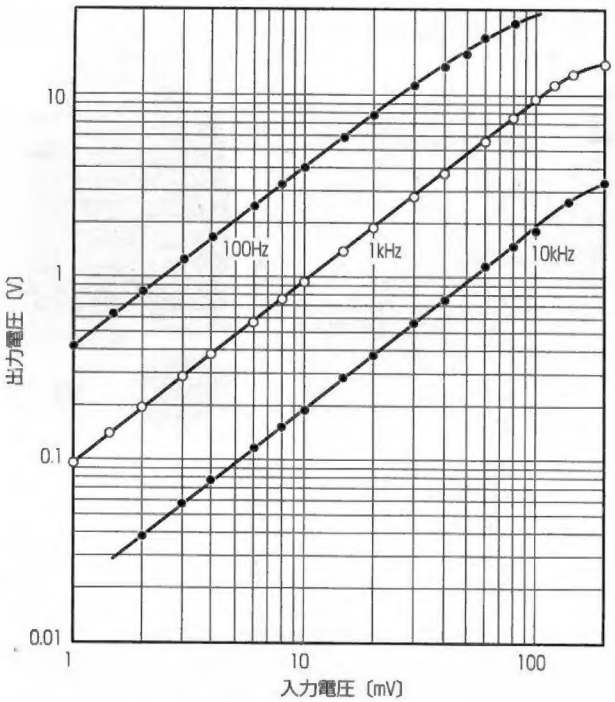
電源回路ユニットからは，B+電圧とヒーター電源用の直流電圧を4芯のケーブルを使ってイコライザーアンプ本体に供給します．B電圧は整流管6X4を使って整流し，チョークを使ったコンデンサーインプットのリップルフィルターを通します．出力側には電源オフしたときの安全のため，放電用の220kΩを入れておきます．また，ヒーター電源の直流11Vは電圧ロスの少ないショットキーバリアダイオードブリッジで整流した後，簡単なリップルフィルターを通しています．

B電源は，イコライザー本体内でハム電圧をさらに減少させるために，チョークを使ったリップルフィルターを通します．またヒーター電源用の直流11Vは，同様に本体内で3端子レギュレーターLM338を使って6.3Vを作ります．ヒーター用には合計3Aの電流容量が必要なので，レギュレーターICからの発熱はかなりの量(約14W)になります．イコライザーアンプを長時間安定に使うためには，この熱を上手に逃がさなければならないので，LM338は十分な大きさの放熱器に取り付けなければなりません．

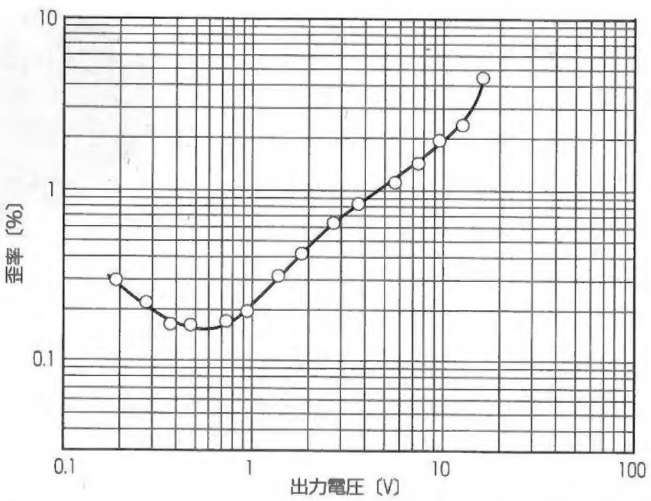
ここまで検討した結果をまとめると，イコライザーの全回路は図7のようになります．

使用部品

前段アンプの電圧増幅部には低雑音の高信頼管テレフンケンE80Fを使っています．E80Fはフ



［図 13］入出力特性（100Hz，1kHz，10kHz）



［図 14］1kHzの歪率特性（400Hzローカットフィルターを使用）

を1kHzで6mV，10kHzで60mVと考えたので，最大入力電圧は一番条件の厳しい10kHzでも2.5倍の150mVとすることができました．この入出力特性からは，100Hzにおける最大入力電圧は，出力段で1kHzと10kHzにおける最大入力電圧は前段電圧増幅段で制限されていることがわかります．

イコライザーアンプのMM入力から出力までの歪率特性を1kHzで測定しました．歪率特性は無帰還アンプのように漸増する傾向を示しています．出力段アンプの歪率が，この結果よりも1/4ほど小さいので，この特性は前段電圧増幅部で決まっていると考えられます．特性の改善のため，前段にはNFBを掛けているとはいえ，わずか4dBなので，歪率特性は無帰還のような形となるようです．

定格出力とした0.6V_{rms}での歪率は0.15%と十分小さくなっています．出力電圧0.4V_{rms}以下で歪率は増加しているように見えますが，これは残留ノイズの影響です．入力短絡での残留雑音は，JIS-Aフィルターを掛けた測定で55μVでした．これは定格出力0.6Vに対するS/Nは80.8dBであり，問題のない数値でした．

試聴とまとめ

完成したイコライザーアンプを下記の機器と組み合わせて試聴しました．ラインアンプの影響を避けるためにイコライザーアンプとメインアンプは直結し，メインアンプのボリュームで音量調整しました．

イコライザーアンプで真っ先に気にかかるハム雑音は，通常の試聴レベルではまったく聴こえず，まずはホッとしたところでレコードを掛けてみました．ボリューム位置は9時あたりなので，イコライザーとしての利得は十分なようです．さらにボリュームを上げてみましたがハムは気になりません．

イコライザーが完成したら，改めて聴きたかった『The Best of Max Roach and Clifford Brown in Concert！』と，録音がよいことで知られている『キリル・コンドラシン/シェラザード』を聴いてみました．LCR型イコライザーということで，何かを期待していたところがありましたが，出てきた音は拍子抜けするような普通の音，ただし会場の雰囲気を色濃く漂わす音で，これでいいんだと妙に納得させてくれる音です．

LCR型イコライザーはどうしても高価となってしまいますが，NFB型やCR型に比べて，回路全般にインピーダンスが低いだけに，製作そのものは，電源を別筐体にすれば難しいことはありません．得られる音を考えれば，ぜひともお勧めしたいイコライザーアンプです．

試聴は，LPプレーヤー：ガラード501，カートリッジ：デノンDL103R，トーンアーム：SME3009，アンプ：PX25シングル（MJ誌2008年12月号発表），スピーカー：アルテック604-8Hのウーファー＋アルテック802D/811Bホーン＋ゴトーSG17sで行いました．